Effet d'une fumure carbonée sur les capacités d'assimilation nette du radis selon l'éclairement de culture

Laurette Combe

► To cite this version:

Laurette Combe. Effet d'une fumure carbonée sur les capacités d'assimilation nette du radis selon l'éclairement de culture. *Agronomie*, 1981, 1 (2), pp.93-98. hal-00884229

HAL Id: hal-00884229

<https://hal.science/hal-00884229>

Submitted on 1 Jan 1981

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Effet d'une fumure carbonée sur les capacités d'assimilation nette du radis selon l'éclairement de culture

Laurette COMBE

Station de Bioclimatologie, I.N.R.A. Versailles, 78000 Versailles.

RÉSUMÉ

*Radis,
Fumure carbonée,
Assimilation
nette du CO₂,
Éclairement
de culture,
Adaptation.*

La fumure carbonée (à 950 vpm de CO₂ au lieu de 350 vpm, teneur normale de l'air en CO₂) ne modifie pas les capacités d'assimilation nette de radis cultivés sous fort éclairement ($650 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Par contre, les capacités d'assimilation nette de radis cultivés sous faible éclairement ($110 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sont diminuées par l'application prolongée de la fumure carbonée.

La valeur du taux d'assimilation nette à 350 vpm de radis cultivés à 350 vpm sous faible éclairement est sensiblement la même que la valeur du taux d'assimilation nette à 950 vpm de Radis cultivés à 950 vpm sous faible éclairement.

Entre 15 et 22 jours, il n'y a pas d'effet de l'âge sur les capacités de photosynthèse des radis quelles que soient les conditions de culture (éclairement et CO₂).

ABSTRACT

*Radish,
Carbon dioxide
enrichment,
Net assimilation
of CO₂,
Cultural
Illumination,
Adaptation.*

Effect of a carbonaceous supply on the net assimilation power in radish according to culture lighting

Carbonaceous supply (at 950 vpm of CO₂ instead of 350 vpm normal content in CO₂ of the air) does not change the net assimilation power of radishes cultivated under intensive lighting ($650 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$). On the contrary the net assimilation power of radishes grown under faint lighting ($110 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) is reduced by a long term supply of carbonaceous manure.

The value of the net assimilation rate at 350 vpm under faint lighting is almost the same as the value of the net assimilation rate at 950 vpm in radishes grown under faint lighting.

Between 15 and 22 days there is no age effect on the photosynthesis capacity of radishes whatever the culture conditions may be (lighting and CO₂).

1. INTRODUCTION

Depuis longtemps déjà, l'enrichissement de la teneur en gaz carbonique de l'air (fumure carbonée) est connu comme moyen d'augmenter la production des cultures en serre. RUDD-JONES (1972) rappelle dans un historique sur les milieux contrôlés les déjà nombreux travaux qui montrent l'effet bénéfique de la fumure carbonée sur la croissance de tomates, concombres, laitues, chrysanthèmes, etc...

Cet effet de l'enrichissement en CO₂ a été attribué à un effet sur la photosynthèse. En effet, les mesures d'échanges gazeux instantanés au niveau des feuilles montrent que l'augmentation de la teneur en CO₂ permet d'accroître l'assimilation nette de nombreuses plantes (effet à court terme) (GAASTRA, 1959 ; CHARTIER, 1966).

Mais peu d'auteurs, en dehors de NEALES & NICHOLLS (1978), se sont étonnés de la relative faiblesse de l'effet de la fumure carbonée sur la croissance par rapport à son effet sur l'assimilation nette instantanée. En fait, pour compren-

dre les effets de la fumure carbonée sur la croissance des plantes, c'est l'effet à long terme de cette fumure sur l'assimilation photosynthétique qu'il faut étudier. En particulier, il est intéressant de savoir si les plantes cultivées en atmosphère enrichie en CO₂ ont la même réponse photosynthétique instantanée aux variations de teneur en CO₂ que les plantes restées en atmosphère normale.

Autrement dit, la question se pose de savoir s'il existe un effet d'adaptation à la teneur en CO₂ comme il existe un effet d'adaptation à l'éclairement de croissance (PRIOUL, 1971).

Un travail précédent (COMBE, 1979) nous avait laissé entrevoir l'existence d'un effet combiné des conditions d'éclairement et de teneur en CO₂ de culture sur l'assimilation nette de Radis cultivés en serre. Nous avons donc conçu une expérience pour étudier les courbes de réponse du taux d'assimilation nette à la teneur en CO₂, N(C), pour des plantes cultivées avec ou sans fumure carbonée et sous un éclairement fort ou faible.

2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

2.1. Matériel végétal

La plante utilisée est le Radis parce qu'il répond bien à la fumure carbonée tant au niveau de la croissance (KNECHT, 1975) qu'à celui de l'assimilation (NILOVSKAYA, 1968) et aussi parce qu'il pousse vite, ce qui permet de faire des expériences répétées. Pour les besoins de l'expérimentation, la variété utilisée est une variété adaptée à la culture en serre. Il s'agit de la variété Serra (Clause).

2.2. Conditions de culture

Les radis sont cultivés en pots sur du sable arrosé de solution nutritive complète (COÏC & LESAIN, 1975). Les pots sont placés dans des enceintes de culture à atmosphère artificielle (température diurne 19 °C, température nocturne 13 °C). La durée de l'éclairement est de 14 h par jour. Deux niveaux d'éclairement sont appliqués aux plantes : un niveau E, éclairement fort, de 190 Wm^{-2} de rayonnement visible soit $650 \pm 34 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Il est obtenu avec des lampes HQI (OSRAM) aux halogènes métalliques placées à 2 m au-dessus du sol. Le niveau e, éclairement faible, est de 32 Wm^{-2} (visible) soit $110 \pm 6 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Un grillage plastique noir qui ne laisse passer que 17 p. 100 du rayonnement incident a été interposé entre les lampes et les plantes pour obtenir ce niveau de rayonnement.

Deux niveaux de gaz carbonique sont également appliqués pour chacun des 2 niveaux d'éclairement. Dans une enceinte, l'air est à la teneur c normale de CO_2 de $350 \pm 50 \text{ vpm}$. Dans l'autre enceinte de culture, l'air est enrichi en gaz carbonique (fumure carbonée) à la teneur C de $950 \pm 50 \text{ vpm}$. La concentration en CO_2 de l'air des enceintes est mesurée à l'aide d'un analyseur infra-rouge. Le signal électrique de l'analyseur est numérisé et comparé à une valeur de consigne affichée sur un détecteur de seuil électronique. Celui-ci commande l'injection de CO_2 lorsque la teneur de l'air est plus faible que la consigne (le jour) et l'absorption de CO_2 lorsque la teneur de l'air est plus élevée que la consigne (la nuit).

2.3. Protocole expérimental

La combinaison des 2 niveaux de CO_2 avec les 2 éclairagements donne donc 4 milieux différents : Ec, EC, ec, eC. Dans chacun de ces 4 milieux, 8 semis échelonnés ont été effectués simultanément de façon à obtenir 8 répétitions pour chacun des traitements.

Aux 15^e et 22^e jours après le semis, un pot est prélevé dans chaque milieu pour procéder à des mesures d'assimilation nette en chambre d'assimilation. Comme nous disposons de 4 chambres où il est possible de faire simultanément les mesures, les pots de chacun des 4 traitements sont prélevés en même temps (le matin) et mesurés en même temps.

Les chambres d'assimilation sont du type de celle décrite par CHARTIER & CHARTIER (1971). Les chambres sont en circuit ouvert. L'air est décarboxylé à l'entrée du circuit par passage sur de la chaux sodée, puis sa teneur en gaz carbonique est réglée manuellement aux niveaux choisis pour l'établissement de la courbe N(C) par enrichissement à partir d'une bouteille contenant 5 p. 100 de CO_2 . Par un jeu d'électrovannes, l'air qui entre dans la chambre et l'air qui est à l'intérieur de la chambre, sont analysés successivement par un analyseur infra-rouge absolu. Après 15 à 30 mn de stabilisation pour chaque niveau de mesure, l'air est

analysé pendant environ 5 mn à l'entrée puis à la sortie de chaque chambre.

Le pot de radis est introduit en entier dans la chambre d'assimilation. Pot et substrat sont enveloppés d'un film plastique ne laissant dépasser que les feuilles. Il a été vérifié que le dégagement de CO_2 à partir du sol et des racines (feuilles coupées) est indétectable dans ce dispositif de mesure. Le Radis a 2 ou 3 paires de feuilles disposées en rosette, elles ne se recouvrent pas (en général) les unes par les autres, mais elles ne sont pas horizontales.

Or l'éclairement dans les chambres d'assimilation est mesuré sur un plan horizontal. Le rapport de la surface de projection verticale des plantes (mesurée par photographie en vue de dessus) à la surface réelle planimétrée directement donne le cosinus de l'angle d'inclinaison moyen des feuilles par rapport à l'horizontale. L'éclairement moyen reçu par les feuilles est égal à l'éclairement mesuré sur le plan horizontal multiplié par le cosinus de l'inclinaison des feuilles. Selon leur inclinaison, l'éclairement reçu par les feuilles de Radis pour les courbes N(C) va de 230 Wm^{-2} (visible) ou $1080 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ à 320 Wm^{-2} (visible) ou $1520 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Dans tous les cas, il s'agit d'un éclairement saturant : les courbes sont donc comparables.

Pour chaque milieu de culture, les mesures de N(C) ont été répétées 8 fois avec des plantes différentes mais de même âge : une étude statistique des paramètres des courbes a été faite pour chaque traitement.

3. RÉSULTATS

3.1. Effet de l'âge

Comme nous le voyons sur l'exemple de la figure 1, les mesures effectuées avec des radis de 15 j. et celles portant sur des radis de 22 j. sont peu différentes. Pour les radis du traitement Ec, le taux d'assimilation nette des plantes de 22 j. est légèrement supérieur à celui des plantes de 15 j., mais seuls les points des courbes moyennes situés entre 350 et 550 vpm sont significativement différents au seuil de 0,05. Cet effet de l'âge est encore moins marqué pour les autres lots de radis (EC, ec et eC). Par la suite, nous comparerons donc des courbes moyennes obtenues à partir des mesures faites à 15 et 22 j., soit 16 répétitions.

3.2. Comparaison des courbes d'assimilation N(C) des radis cultivés sous fort éclairement

La figure 2 montre que les courbes moyennes N(C) des plantes cultivées sous fort éclairement ne sont pas significativement différentes avec ou sans fumure carbonée : les 2 bandes de confiance pour chaque courbe se chevauchent largement. Les 2 courbes moyennes se recoupent à leurs 2 extrémités (0 et 1400 vpm). La courbe des plantes avec fumure carbonée a seulement tendance à être un peu plus tendue (plus basse) entre 300 et 700 vpm que celle des plantes sans fumure carbonée (les différences entre les points des courbes moyennes ne sont pas significatives).

Le tableau 1 montre que si les ordonnées à l'origine des courbes N(C) (respiration dans l'air sans CO_2) sont identiques pour les 2 traitements à fort éclairement, les pentes à l'origine (conductance totale) sont légèrement différentes (significatif au seuil 0,05) et les points de compensation ne sont pas significativement différents.

Ainsi, pour des plantes cultivées sous éclairement fort, une fumure carbonée de 950 vpm, sous un éclairement

Figure 1

Effet de l'âge sur le taux d'assimilation nette (N) de radis (Ec) cultivés à éclaircissement fort et sans fumure carbonée. Points de mesure et courbes moyennes sur 8 répétitions mesurés à éclaircissement $E \geq 230 \text{ Wm}^{-2}$ (visible) ou $1\,090 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Effect of age on net assimilation rate (N) of radishes Ec grown under strong irradiance and normal CO_2 ; measured points and mean curves on 8 replicates under irradiance $E \geq 230 \text{ Wm}^{-2}$ (visible) or $1\,090 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

- — 15 jours (15 days old radishes)
- × — 22 jours (22 days old radishes).
- Zone où les courbes moyennes sont significativement différentes au seuil 0,05 p. 100.
- Area where mean curves are significantly different at the 0,05 level.

Figure 2

Comparaison des courbes $N(C)$ pour des radis cultivés sous éclaircissement fort avec (EC) ou sans (Ec) fumure carbonée. Ordonnées : taux d'assimilation nette par unité de surface de feuille. (16 répétitions).

$N(C)$ curves for radishes grown under strong irradiance with or without high CO_2 (16 replicates). Ordinate : net assimilation rate.

- EC courbe moyenne (mean curve).
- - Ec courbe moyenne (mean curve).
- - - Bande de confiance au seuil de 5 p. 100 pour EC .
- - - Confidence belt at the 0,05 level for EC .
- - - Bande de confiance au seuil de 5 p. 100 pour Ec .
- - - Confidence belt at the 0,05 level for Ec .

Figure 3

Comparaison des courbes $N(C)$ pour des radis cultivés sous faible éclaircissement avec (eC) ou sans (ec) fumure carbonée. Ordonnées : taux d'assimilation nette par unité de surface de feuille. (16 répétitions).

$N(C)$ curves for radishes grown under poor irradiance with or without high CO_2 (16 replicates). Ordinate : net assimilation rate.

- eC courbe moyenne (mean curve).
- - ec courbe moyenne (mean curve).
- - - Bande de confiance au seuil de 5 p. 100 pour eC .
- - - Confidence belt at the 0,05 level for eC .
- - - Bande de confiance au seuil de 5 p. 100 pour ec .
- - - Confidence belt at the 0,05 level for ec .

TABLEAU 1

Comparaison des paramètres des courbes $N(C)$ pour les 4 traitements (moyenne sur 16 répétitions) (les mesures ont été effectuées en éclairement saturant).

Parameters of $N(C)$ curves for the 4 treatments (16 replicates) ; measures were taken under saturating illumination.

	Eclairissement de la culture fort (cultural illumination strong)		Eclairissement de la culture faible (cultural illumination weak)		
	Ec	EC	ec	eC	
Respiration dans l'air sans CO_2 ($\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (respiration in air without CO_2)	- 243	ns	- 244	- 132	ns
Conductance totale (10^{-3} m s^{-1}) (pente à l'origine) (total conductance)	2,06		1,89	0,97	***
Point de compensation Γ (vpm de CO_2) (compensation point)	61	ns	67	73	*
Taux d'assimilation nette à 250 vpm ($\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (net assimilation rate at 350 vpm)	887	*	786	397	***
Taux d'assimilation nette à 1 000 vpm ($\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (net assimilation rate at 1 000 vpm)	1 215	ns	1 176	569	**

ns différence non significative entre les plantes avec ou sans fumure carbonée.

* différence significative au seuil 0,05.

** différence significative au seuil 0,01.

*** différence significative au seuil 0,001.

saturant ($E > 190 \text{ W m}^{-2}$ (visible)) auquel correspondent les courbes de la figure 2, fait passer le taux d'assimilation nette de 887 à $1\,176 \mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (de feuille) s^{-1} (voir tabl. 1), ce qui correspond à une augmentation de 33 p. 100 (différence significative au seuil de 0,001).

3.3. Comparaison des courbes d'assimilation $N(C)$ des radis cultivés sous faible éclairement

La figure 3 montre que les courbes moyennes $N(C)$ des plantes avec et sans fumure carbonée sous faible éclairement sont significativement différentes. Les 2 courbes moyennes ne se recoupent pas et les bandes de confiance ne se chevauchent qu'aux 2 extrémités.

La fumure carbonée déprime nettement la courbe de photosynthèse $N(C)$ mesurée sous éclairement fort lorsque l'éclairissement de culture est faible. La courbe $N(C)$ a été mesurée une fois pour chaque traitement avec un éclairissement faible (de 28 à 35 W m^{-2} (visible) ou 133 à $166 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de façon à savoir ce qui se passe réellement dans les conditions de croissance. Sur l'exemple de la figure 4, nous voyons que l'effet dépressif de la fumure carbonée sur la courbe $N(C)$ mis en évidence pour des mesures faites à fort éclairissement se manifeste de la même façon pour des mesures faites à faible éclairissement.

Nous voyons sur le tableau 1 que, pour les plantes cultivées à faible éclairissement, la différence entre les ordonnées à l'origine des courbes $N(C)$ n'est pas significative ; par contre, la pente à l'origine est significativement différente (seuil de 0,001) et le point de compensation également (seuil de 0,05). Sous éclairissement faible, la fumure carbonée ne permet donc pas de gain de photosynthèse ; au contraire même, l'assimilation nette à 950 vpm de plantes traitées par une forte teneur en CO_2 a tendance à être plus faible que l'assimilation nette à 350 vpm de plantes sans fumure carbonée (différence non significative) (voir tabl. 1).

Figure 4

Comparaison des courbes $N(C)$ établies à éclairissement fort (260 W m^{-2} visible) avec les courbes établies à faible éclairissement ($\approx 30 \text{ W m}^{-2}$ visible) pour des radis de 22 jours cultivés sous faible éclairissement avec (eC) ou sans fumure carbonée (ec).

$N(C)$ curves measured at strong irradiance (260 W m^{-2} visible) and curves measured at poor irradiance ($\approx 30 \text{ W m}^{-2}$ visible) for 22 days old radishes grown under poor irradiance with or without high CO_2 .

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous voyons que chez le Radis, l'effet de la fumure carbonée à long terme (ou effet adaptatif) sur le taux d'assimilation nette mesuré en éclairissement saturant est différent selon l'éclairissement de la culture. Lorsque l'éclaire-

ment moyen de croissance est suffisamment élevé (ici 190 Wm⁻² visible ou 650 µE m⁻² s⁻¹), la fumure carbonée ne modifie que fort peu les courbes d'assimilation en fonction de la teneur en CO₂. Dans ce cas, la fumure carbonée à 950 vpm permet un gain de photosynthèse qui se traduit par une croissance plus forte en matière sèche (COMBE, 1979).

Par contre, lorsque l'éclairement de la culture est faible (ici 32 Wm⁻² (visible) ou 110 µE m⁻² s⁻¹), la fumure carbonée entraîne une diminution de la capacité photosynthétique (mesurée en lumière saturante) des radis pour les différentes concentrations de CO₂ (de 0 à 1 400 vpm).

Cette interaction de la fumure carbonée avec un autre paramètre de l'assimilation (ici l'éclairement) sur l'effet adaptatif du CO₂ se rencontre aussi pour d'autres facteurs. Par exemple pour la température, HOFSTRA & HESKETH (1975) constatent que la fumure carbonée a un effet positif sur la croissance du Soja uniquement lorsque les températures de la culture se situent à l'optimum (pour la croissance à la teneur normale de CO₂).

De même, l'âge de la plante peut interférer avec la réaction au gaz carbonique. NEALES & NICHOLLS (1978) constatent que le taux d'assimilation nette est augmenté en passant de 200 à 800 vpm de CO₂ pour des blés de 10 j. alors qu'il est diminué pour des blés de 24 j. dans les mêmes conditions. Il peut s'agir là d'un effet de la durée d'application du traitement de fumure carbonée plutôt que d'un effet de l'âge proprement dit. En tous cas, chez le Radis, nous ne constatons pas une telle différence entre 15 et 22 jours.

L'interaction éclairement-gaz carbonique que nous avons mise en évidence chez le Radis se rencontre pour d'autres plantes. Pour la Laitue, par exemple, ROBELIN & MARTIGNAC (1975) montrent qu'à des éclairements élevés un effet dépressif des teneurs en CO₂ supérieures à 1 300 vpm se manifeste plus nettement qu'à des éclairements faibles.

Inversement, GIFFORD (1977) constate que le gain de croissance dû à une fumure carbonée est relativement plus fort pour du blé cultivé sous un éclairement faible que sous un éclairement élevé, cependant il n'obtient pas de différence significative entre les courbes N(C) des plantes cultivées à 140, 290 ou 490 vpm de CO₂ sous éclairement faible (lumière d'hiver).

L'action du gaz carbonique sur l'ouverture stomatique est considérée comme une explication possible de l'effet dépressif de la fumure carbonée sur la capacité d'assimilation (cas du chou-rave, FRYDRYCH, 1978). Chez le Radis, nous avons fait des mesures de résistance stomatique dont les résultats sont résumés dans le tableau 2. Effectivement, l'augmentation de la teneur en CO₂ de 350 à 1 000 vpm accroît la résistance stomatique, surtout si la plante a reçu une fumure carbonée et un éclairement faible. Mais la part de la résistance stomatique dans la résistance totale à la diffusion du CO₂ reste faible dans tous les traitements ($r_s/\sum r = 18$ p. 100 pour les plantes avec E et $r_s/\sum r = 9$ p. 100 pour les plantes avec e). La fumure carbonée accroît donc beaucoup plus la résistance interne que la résistance stomatique.

L'effet dépressif de l'application prolongée de la fumure carbonée sur le taux d'assimilation nette des radis élevés en lumière faible se rencontre pour d'autres plantes. FRYDRYCH (1976) le voit chez de jeunes concombres (fumure carbonée à 1 500 vpm, éclairement de la culture sous 35 Wm⁻²). MADSEN (1975) constate le même phénomène chez la Tomate adulte (fumure carbonée à 2 200 vpm). Enfin HO (1977) retrouve ce résultat aussi chez la Tomate (fumure carbonée à 1 000 vpm, éclairement 40 Wm⁻²). Cette diminution du taux de photosynthèse chez les plantes enrichies en CO₂ est attribuée par la plupart des auteurs à une mauvaise évacuation des assimilats hors des feuilles et à une augmentation du contenu en amidon des chloroplastes.

TABLEAU 2

Comparaison des résistances à la diffusion du CO₂ pour les 4 traitements

Radis de 22 jours, mesures effectuées en éclairement saturant.

Valeurs moyennes ± écart-type de la moyenne (8 répétitions).

Résistance de la couche limite $r_a = 55 \pm 3$ sm⁻¹.

Résistance interne $r_i = \sum r - (r_a + r_s)$.

Resistance to CO₂ diffusion for the 4 treatments.

22 days old radishes, measures taken under saturating illumination.

Mean values ± standard deviation (8 replicates).

boundary layer resistance $r_a = 55 \pm 3$ sm⁻¹.

Internal resistance $r_i = \sum r - (r_a + r_s)$.

Résistances sm ⁻¹	Traitements			
	Ec	EC	ec	eC
$r_s(350)$ résistance stomatique à 350 vpm CO ₂ (stomatal resistance at 350 vpm)	87 ± 16 + 9 % ns	69 ± 13 + 33 % *	90 ± 7 + 21 % *	107 ± 17 + 39 % **
$r_s(1\ 000)$ résistance stomatique à 1 000 vpm CO ₂ (stomatal resistance at 1 000 vpm)	95 ± 11	92 ± 20	109 ± 9	149 ± 21
$\sum r$ résistance totale (d'après la pente à l'origine) (total resistance (from initial slope))	485 ± 8	528 ± 10	1 031 ± 36	1 639 ± 9
$r_s(350)/\sum r$	0,71	0,77	0,86	0,90
$r_s(1\ 000)/\sum r$	0,69	0,72	0,84	0,88

ns différence entre les 2 lignes non significative.

* différence entre les 2 lignes significative au seuil 0,05.

** différence entre les 2 lignes non significative au seuil 0,01.

Cependant, Ho (1977) constate que les plantes enrichies en CO_2 montrent un taux d'exportation hors des feuilles plus élevé que les plantes cultivées en atmosphère normale. De plus, les éclairagements de culture (de 30 à 40 Wm^{-2}) sont loin d'être saturants et l'on voit mal pourquoi l'augmentation de la production d'assimilat par le CO_2 provoquerait à elle seule un engorgement du système de transport (qui n'a pas lieu, semble-t-il, quand l'assimilation est augmentée par l'éclaircement).

La fumure carbonée provoque donc chez le Radis une augmentation des résistances internes à la diffusion du CO_2

lorsqu'elle est appliquée sur des plantes peu éclairées, mais le mécanisme de cette augmentation des résistances internes n'est pas évident.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier M. André KOBILINSKY pour son appui dans le domaine du dépouillement statistique des courbes d'assimilation $\text{N}(\text{C})$ et M. Bernard JAUSSELY pour son aide technique.

Reçu le 23 mai 1980.
Accepté le 29 octobre 1980.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chartier P., 1966. Etude théorique de l'assimilation brute de la feuille. *Ann. Physiol. Vég.*, **8**, 3, 167-196.
- Chartier M., Chartier Ph., 1971. Design of an air conditioned assimilation chamber for detached leaves. *Photosynthetica*, **5**, 1, 74-75.
- Coic Y., Lesaint C., 1975. *La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée*. Doc. Techn. SCPA, 23, 22 p.
- Combe L., 1979. Effet du gaz carbonique et de l'éclaircement sur la croissance et la répartition des assimilats chez le Radis (*Raphanus sativus*). *Ann. agron.*, **30**, 3, 217-231.
- Frydrych J., 1976. Photosynthetic characteristics of cucumber seedlings grown under two levels of carbon dioxide. *Photosynthetica*, **10**, 3, 335-338.
- Frydrych J., 1978. The effect of increased CO_2 concentration on photosynthetic rate of leaves of kohlrabi clones (*Brassica oleracea* var. *gongyolodes* L.). *Z. Pflanzenzüchtg.*, **80**, 158-161.
- Gaastra P., 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. *Meded. Landbouwhoges. Wageningen*, **59**, 13, 1-68.
- Gifford R. M., 1977. Growth pattern, carbon dioxide exchange and dry weight distribution in wheat growing under differing photosynthetic environments. *Aust. J. Plant Physiol.*, **4**, 99-110.
- Ho L. C., 1977. Effects of CO_2 enrichment on the rates of photosynthesis and translocation of tomato leaves. *Ann. Appl. Biol.*, **87**, 191-200.
- Hofstra G., Hesketh J. D., 1975. The effects of temperature and CO_2 enrichment on photosynthesis in soybean. In: "Environmental and biological control of photosynthesis", Marcelle R. Ed. Junk, The Hague, 71-80.
- Knecht G. N., 1975. Response of radish to high CO_2 . *Hortscience*, **10**, 3, 274-275.
- Madsen E., 1975. Effect of CO_2 enrichment on growth, development, fruit production and fruit quality of tomato, from a physiological view point. In: "Phytotronics in agricultural and horticultural research" *Phytotronics I*. Chouard P. & de Bilderling N. Ed., Gauthier-Villars, Paris, 318-330.
- Neales T. F., Nicholls A. O., 1978. Growth responses of young wheat plants to a range of ambient CO_2 levels. *Aust. J. Plant Physiol.*, **5**, 45-59.
- Nilovskaya N. T., 1968. Photosynthesis and respiration in vegetable plants exposed to various carbon dioxide concentrations. *Soviet Plant Physiol.*, **15**, 853-858.
- Prioul J. L., 1971. Réaction des feuilles de *Lolium multiflorum* à l'éclaircement pendant la croissance et variation des résistances aux échanges gazeux photosynthétiques. *Photosynthetica*, **5**, 4, 364-375.
- Raper P. D., Peedin G. F., 1978. Photosynthetic rate during steady state growth as influenced by carbon dioxide concentration. *Bot. Gaz.*, **139**, 2, 147-149.
- Robelin M., Martignac M., 1975. Contribution à l'étude de la fumure carbonique sous serre. In: "Phytotronics in agricultural and horticultural research", *Phytotronics I*, Chouard P., de Bilderling N. Ed., Gauthier-Villars, Paris, 305-317.
- Rudd-Jones D., 1972. Controlled environments. In: "Crop processes in controlled environments", Rees A. R. & al. Ed. Academic Press, London 1-6.